

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-132189

(43)Date of publication of application : 13.05.1994

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G01B 11/24

G03F 9/00

(21)Application number : 05-025989

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 22.01.1993

(72)Inventor : TANAKA YASUSHI

(30)Priority

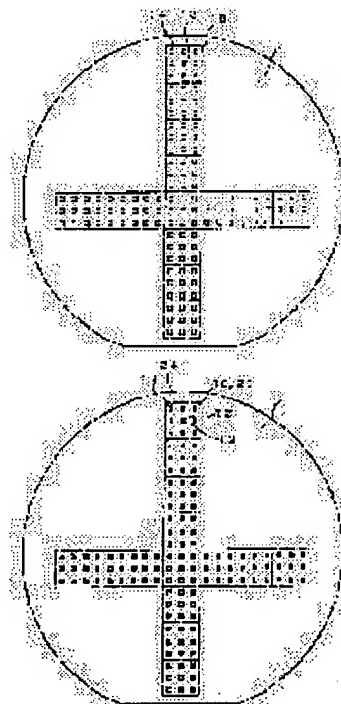
Priority number : 04258824 Priority date : 03.09.1992 Priority country : JP

(54) METHOD FOR OPTIMIZING MEASUREMENT CONDITIONS OF OVERLAPPING ACCURACY  
MEASURING DEVICE AND METHOD FOR OPTIMIZING ALIGNMENT MARK SHAPE OR ALIGNMENT MARK  
MEASUREMENT SYSTEM IN EXPOSURE DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To optimize measurement conditions by obtaining the fluctuation of the difference in the amount of deviation for each center measurement mark of a peripheral measurement mark according to the combination of a plurality of center measurement marks and a plurality of peripheral marks.

CONSTITUTION: A pattern 10 for measuring deviation consists of a center measurement mark 12 and a plurality of peripheral measurement marks 14 laid out at the periphery of the center measurement mark 12 and a plurality of patterns 10 are formed on a substrate. A pattern 20 for measuring the deviation consists of a center measurement mark 22 and a plurality of peripheral measurement marks 24 laid out at the periphery of the mark 22 and then a plurality of patterns 20 are formed on the substrate so that the mark 22 is formed nearly at a center part and a plurality of marks 24 are formed nearly at the center part of a plurality of marks 14. Then, the amount of deviation between the marks 12 and 22 is measured by an alignment accuracy measuring device and the amount of deviation between the marks 14 and 24 is measured, thus optimizing measurement conditions.



Best Available Copy

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.11.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-132189

(43)公開日 平成6年(1994)5月13日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 1 B 11/24	F	9108-2F		
G 0 3 F 9/00	H	9122-2H		
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 B
		7352-4M		3 0 1 M
審査請求 未請求 請求項の数5(全 24 頁)				

(21)出願番号 特願平5-25989

(22)出願日 平成5年(1993)1月22日

(31)優先権主張番号 特願平4-258824

(32)優先日 平4(1992)9月3日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 田中 寧

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(74)代理人 弁理士 山本 孝久

(54)【発明の名称】 重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法、並びにアラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式の最適化方法

(57)【要約】

【目的】エッチングすることなく、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法を提供する。

【構成】この方法は、第1の測定マークから成る第1の重ね合わせずれ測定用パターン、及び第2の測定マークから成る第2の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に形成し、重ね合わせ精度測定機によって、第1の測定マークと第2の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を測定し、各重ね合わせずれ量から所定の重ね合わせずれ量を減じて、重ね合わせずれ量差分を求め、重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を調整する、各工程から成る。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に形成された複数の第1の重ね合わせずれ測定用パターンと第2の重ね合わせずれ測定用パターンとの間の重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法であって、

(イ) 第1の中央測定マークと、該第1の中央測定マークの周辺に配置された複数の第1の周辺測定マークとから成る第1の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に複数形成する工程と、

(ロ) 第2の中央測定マークと、該第2の中央測定マークの周辺に配置された複数の第2の周辺測定マークとから成り、第1の中央測定マークと第1の周辺測定マークとの相対的な位置関係が第2の中央測定マークと第2の周辺測定マークとの相対的な位置関係と設計上等しい、第2の重ね合わせずれ測定用パターンを、第2の中央測定マークが前記第1の中央測定マークの概ね中央部分に形成され、且つ、複数の第2の周辺測定マークが前記複数の第1の周辺測定マークの概ね中央部分に形成されるように、基板上に複数形成する工程と、

(ハ) 第1の重ね合わせずれ測定用パターン及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターンの各々において、重ね合わせ精度測定機によって、第1の中央測定マークと第2の中央測定マークとの間の中央測定マーク重ね合わせずれ量を測定し、第1の周辺測定マークとこれに対応する第2の周辺測定マークとの間の周辺測定マーク重ね合わせずれ量を測定する重ね合わせずれ量測定工程と、

(ニ) 第1の重ね合わせずれ測定用パターン及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターンの各々において、各周辺測定マーク重ね合わせずれ量から、中央測定マーク重ね合わせずれ量を減じて、重ね合わせずれ量差分を求める工程、

から成り、重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を調整することを特徴とする重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法。

【請求項2】前記(イ)の第1の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に複数形成する工程は、半導体基板上にCVD法、酸化法又はスパッタ法によって形成されたSiO<sub>2</sub>、SiN、ポリシリコン、WSi、W又はアルミニウムから成る層の上にレジスト層を形成し、リソグラフィ法及びエッチング法に基づき該層に第1の重ね合わせずれ測定用パターンを複数形成する工程から成り、前記(ロ)の第2の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に複数形成する工程は、複数の第1の重ね合わせずれ測定用パターンが形成された半導体基板上にレジスト層を形成し、リソグラフィ法によって該レジスト層に第2の重ね合わせずれ測定用パターンを複数形成する工程

から成ることを特徴とする請求項1に記載の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法。

【請求項3】基板上に重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成し、該重ね合わせずれ測定用パターン領域に形成された測定マークの重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法であって、

(イ) 基板上に複数の第1の測定マークを有する重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成する工程と、

(ロ) 該重ね合わせずれ測定用パターン領域上に薄膜層を形成する工程と、

(ハ) それぞれの第1の測定マークの上方の薄膜層上に、レジスト材から成り、複数の第1の測定マーク間の相対的な位置関係に設計上等しい、第2の測定マークを形成する工程と、

(ニ) 重ね合わせ精度測定機の各種測定条件を変えて、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第1の測定マークの形状の影響を受けて形成された薄膜層の形状と、該第1の測定マークに対応する第2の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量を得る工程と、

(ホ) 第2の測定マークをマスクとして用いて薄膜層をエッチングし、薄膜層から第3の測定マークを形成する工程と、

(ヘ) 第3の測定マークと、該第3の測定マークに対応する第1の測定マークとの間の第2の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定する工程と、

(ト) 重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分を求める工程、

から成り、かかる重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件を選択することを特徴とする重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法。

【請求項4】基板上に重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成し、重ね合わせずれ測定用パターン領域に形成された測定マークの重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法であって、

(イ) 複数の第1の測定マークと、各第1の測定マークに隣接した第2の測定マークとを有する重ね合わせずれ測定用パターン領域を基板上に複数形成する工程と、

(ロ) 該重ね合わせずれ測定用パターン領域上に薄膜層を形成する工程と、

(ハ) 第1の測定マーク上の薄膜層を選択的に除去し、第2の測定マーク上の薄膜層を残す工程と、

(ニ) 各第1の測定マークに対して相対的な位置関係が設計上等しい第3の測定マークを各第1の測定マークに対応して形成し、且つ、各第2の測定マークに対して相対的な位置関係が設計上等しい第4の測定マークを各第2の測定マークの上方の薄膜層上に形成する工程と、

(ホ) 重ね合わせ精度測定機の各種測定条件を変えて、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第2の測定マークの形状の影響を受けて形成された薄膜層の形状と、第4の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量を得る工程と、併せて、重ね合わせ精度測定機の測定条件を一定として、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第1の測定マークと、第3の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の一定の測定条件に対応した第2の重ね合わせずれ量を得る工程と、

(ヘ) 重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分を求める工程、

から成り、かかる重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件を選択することを特徴とする重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法。

【請求項5】基板上に複数のアラインメントマークを有するダイを複数形成し、かかるダイに形成されたアラインメントマークの位置座標を露光装置が備えているアラインメントマーク測定方式によって測定し、アラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式を最適化する方法であって、

(イ) 各ダイにおけるアラインメントマークの各々の設計上の相対的な位置関係を等しくして、基板上に複数のアラインメントマークを有するダイを複数形成した後、かかる基板表面に感光性樹脂を塗布する工程と、

(ロ) 各アラインメントマークの位置を、露光装置が備えているアラインメントマーク測定方式によって測定し、位置座標 ( $X_m$ ,  $Y_m$ ) を求める工程と、

(ハ) 各ダイにおいて、複数のアラインメントマークの内の1つを基準点とし、あるいは又、ダイ内の全てのアラインメントの位置座標の平均値を基準点として、かかる基準点の位置座標 ( $X_{m-0}$ ,  $Y_{m-0}$ ) に対する他の各アラインメントマークの相対的な位置座標 ( $X_{m-r}$ ,  $Y_{m-r}$ ) を、位置座標 ( $X_m$ ,  $Y_m$ ) から求める工程と、

(ニ) 各ダイにおいて、基準点に対する他の各アラインメントマークの設計上の相対的な位置座標 ( $X_{d-r}$ ,  $Y_{d-r}$ ) を計算によって求め、該位置座標 ( $X_{d-r}$ ,  $Y_{d-r}$ ) と、前記 (ハ) の工程で求めた各アラインメントマークの相対的な位置座標 ( $X_{m-r}$ ,  $Y_{m-r}$ ) との間の差である相対的な位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) を求める工程、

から成り、

かかる位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) の複数のダイの間でのばらつきが最小となるアラインメントマークあるいはアラインメントマーク測定方式を選択することを特徴とするアラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式の最適化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法、並びにアラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式の最適化方法に関する。

【0002】

【従来の技術】重ね合わせ精度測定機は、例えば、半導体装置やLCDの製造時、種々の工程で形成された半導体素子やLCDの構成要素相互の重ね合わせが適切か否か、あるいは又、下地に合わせてパターンを形成した場合の下地に対するパターンのずれ等を測定するために使用される。重ね合わせ精度測定機には、走査型電子顕微鏡 (SEM) 方式と光学方式とがある。光学方式の重ね合わせ精度測定機の概要を図20に示す。

【0003】従来の重ね合わせ精度測定機の精度の基準は、測定再現性 ( $3\sigma$ ) とTIS (Tool-Induced-Shift) である。

【0004】測定再現性 ( $3\sigma$ ) は、基板に形成された複数の測定マークにおいて重ね合わせ精度を順次測定し、この測定を繰り返して複数回行い、得られた同一測定マークに対する重ね合わせ精度の測定値のばらつきを求めることによって得ることができる。尚、 $\sigma$  は得られた同一測定マークに対する重ね合わせ精度の測定値のばらつき (標準偏差) である。 $3\sigma$  が大きいほど、同じ測定マークを測定しても、得られる測定値がばらつく。即ち、重ね合わせ精度測定機の精度が低いといえる。

【0005】TISは次のように定義される。即ち、基板に形成された複数の測定マークの位置座標を順次測定し、次に、基板を180度回転させ、再び基板に形成された複数の測定マークの位置座標を順次測定する。基板を回転させる前の或る測定マークのX座標、Y座標を  $X_0$ ,  $Y_0$ 、基板を180度回転させた後の当該測定マークのX座標、Y座標を  $X_{180}$ ,  $Y_{180}$  とすれば、同一測定マークにおいては、

$$X_0 = -X_{180}$$

$$Y_0 = -Y_{180}$$

となるはずである。実際には、上記は成立せず、

$$X_0 \neq -X_{180}$$

$$Y_0 \neq -Y_{180}$$

となる。 $X_0$  と  $X_{180}$  の平均値、及び  $Y_0$  と  $Y_{180}$  の平均値をTISと呼ぶ。TISは光学系の不十分さ、主に重ね合わせ精度測定機の照明光の光軸の垂直性の不十分さの指標であり、TISが大きいほど、同じ測定マークを測

定しても、得られた重ね合わせ精度の測定値の誤差が大きくなる。即ち、重ね合わせ精度測定機の精度が低いといえる。

【0006】半導体素子やLCDの構成要素を形成する際、構成要素相互に重ね合わせずれが生じる場合がある。この原因は、例えば、(A)露光装置の露光位置設定に誤差がある、(B)複数のステッパを用いて複数の工程にて構成要素を形成するときに、ステッパのレンズ相互にレンズディストーション差がある、(C)半導体基板に熱伸縮が生じる、(D)半導体基板が回転した状態10でパターンが転写される(所謂チップローテーションが発生する)、等が挙げられる。

【0007】更に、重ね合わせ精度測定機に起因した、見掛け上の構成要素相互の重ね合わせずれも存在する。見掛け上の重ね合わせずれは、SEM方式及び光学方式においては、(a)重ね合わせ精度測定機の焦点位置、によって発生し、光学方式においては、更に、(b)測定マークを画像(例えば、明視野像、暗視野像、干渉像、散乱像)として重ね合わせ精度測定機に取り込む場合の画像取り込み方式、(c)レンズの開口数、照明光20の波長帯域等の光学系の諸定数、(d)光量の差、(e)照明光の光軸の歪み等によって発生する。このような要因によって、重ね合わせ精度測定機には測定誤差が生じる。

【0008】また、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化すれば、重ね合わせ精度測定機によって得られた重ね合わせずれ量の値は、真の重ね合わせずれ量の値に近づくはずである。例えば、図21に模式的な一部断面図を示す半導体素子を例にとり、以下、真の重ね合わせずれ量について説明する。図21の(A)に示すよう30に、半導体基板100の上に例えばCVD法でSiO<sub>2</sub>から成る層間絶縁層102を形成し、層間絶縁層に例えばリアクティブ・イオン・エッチング法で開口部104を設ける。次に、アルミニウムから成る配線層を開口部104の中央部分に形成するために、例えばスパッタリング法でアルミニウム薄膜層106を全面に形成する(図21の(B)参照)。

【0009】次いで、その上に、フォトリソグラフィ法でパターン化されたレジスト層110を形成する(図21の(C)参照)。このとき、層間絶縁層102の段差部108A、108Bからレジスト層110までの距離をA<sub>1</sub>及びB<sub>1</sub>とする。

【0010】次いで、パターン化されたレジスト層110をマスクとして、アルミニウム薄膜層106をエッチングし、レジスト層110を除去する。こうして、図21の(D)に示す構造の半導体素子が得られる。層間絶縁層102の段差部102A、102Bからパターン化されたアルミニウム薄膜層106A(配線層)までの距40

離は、A<sub>2</sub>及びB<sub>2</sub>となる。この場合、層間絶縁層102の段差部に起因したアルミニウム薄膜層106の非対称性によって、(A<sub>1</sub>-B<sub>1</sub>)/2の値と、(A<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>)/2の値は異なる。即ち、

$$(A_1 - B_1) / 2 \neq (A_2 - B_2) / 2$$

となる。尚、(A<sub>1</sub>-B<sub>1</sub>)/2の値や(A<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>)/2の値を重ね合わせずれ量という。また、エッチング後の(A<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>)/2の値を真の重ね合わせずれ量という。

【0011】層間絶縁層102の段差部に起因したアルミニウム薄膜層106の非対称性によって、

$$(A_1 - B_1) / 2 \neq (A_2 - B_2) / 2$$

となるが、他の原因として、アルミニウム薄膜層106のエッチング時、イオンの入射角度が非対称であること、パターン化されたレジスト層110の側壁が非対称であること等が挙げられる。

【0012】エッチング後の半導体素子における半導体素子構成要素(例えば、上述の例においては、層間絶縁層102と配線層106A)との間の真の重ね合わせずれ量が、所定の値より大きい場合、半導体装置は不良となる。従って、エッチング前に、半導体素子構成要素相互の重ね合わせずれが所定の値より大きいのか否かを評価する必要がある。

【0013】半導体装置やLCDの製造工程においては、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置が用いられている。ステップ・アンド・リピート方式の露光装置の構成概要例を図22に示す。露光ステージの位置はレーザ干渉計で精密に制御される。露光装置によって基板上に高精度のパターニングを行うためには、露光装置における基板(あるいは基板ステージ)の位置を高精度で制御する必要がある。そのために、通常、基板に複数のアラインメントマークを形成しておき、露光装置に備えられたアラインメントマーク測定方式によってアラインメントマークを測定し、この測定結果を基に基板(あるいは基板ステージ)の位置を制御する。

【0014】ステップ・アンド・リピート方式の露光装置には、一般に、複数のアラインメントマーク測定方式が備えられている。この複数のアラインメントマーク測定方式は、複数種のハードウェアから構成されている場合もあるし、1つのハードウェアに対して備えられた複数種の解析アルゴリズム(ハードウェアからの出力信号の処理解析アルゴリズム)から構成されている場合もある。

【0015】最適なアラインメントマーク測定方式を選択するためには、即ち、露光装置に備えられたこれらのアラインメントマーク測定方式を最適化するためには、通常、各種のアラインメントマーク測定方式を用いてアラインメントマークを測定して基板の位置合わせを行う。そして、基板に形成された感光性樹脂に対して実際に重ね合わせ露光・現像を行いパターンを形成する。その後、感光性樹脂を露光・現像したパターンの下地のパ

ターンに対する位置のずれをバーニア等を用いて目視にて測定したり、重ね合わせ精度測定機によって測定する必要がある。そして、かかるずれが最も小さくなるようなアラインメントマーク測定方式を選択する。

#### 【0016】

【発明が解決しようとする課題】先に説明した、重ね合わせ精度測定機の精度の基準である測定再現性(3 $\sigma$ )及びTISは、表面荒れや段差等を有する実際の半導体素子に重ね合わせ精度測定機を適用した場合の測定誤差全てを包含しているわけではない。

【0017】即ち、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差を最小にするために、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法は知られていない。

【0018】また、エッチング後の半導体素子における半導体素子構成要素相互の真の重ね合わせずれ量と、エッチング前の半導体素子における半導体素子構成要素相互の重ね合わせずれ量の相関がとれるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法も知られていない。

【0019】特に、エッチング前の半導体素子における半導体素子構成要素相互の重ね合わせずれ量の測定は、重ね合わせ精度測定機によって得られる半導体素子構成要素の像が一般に余り鮮明ではなく、誤差が生じ易い。従って、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差を出来る限り小さくすることは、従来、極めて困難であった。

【0020】更に、図21にて説明したように、例えばアルミニウム薄膜層106のカバレッジの非対称性に起因したエッチング前後で重ね合わせずれ量の値が異なることを考慮した上で、重ね合わせ精度測定機の測定条件

を最適化する方法も知られていない。

【0021】ステップ・アンド・リピート方式の露光装置においては、複数のアラインメントマーク測定方式から最適な測定方式を選択する、即ち、アラインメントマーク測定方式を最適化する必要がある。アラインメントマーク測定方式が複数種のハードウェアから構成されている場合、各ハードウェア毎に、重ね合わせ露光を行ったアラインメント評価用基板を作製する必要がある。また、アラインメントマーク測定方式が1つのハードウェアに対して備えられた複数種の解析アルゴリズムから構成されている場合、更に、各解析アルゴリズム毎に、重ね合わせ露光を行ったアラインメント評価用基板を作製する必要がある。そして、かかるアラインメント評価用基板における感光性樹脂を露光・現像したパターンの下地のパターンに対する位置のずれの測定を行い、最もずれの少ないアラインメントマーク測定方式を選択する。

【0022】更に、或るアラインメントマーク測定方式に最も適したアラインメントマークの形状はどのような形状であるかを決定するために、種々の形状を有するアラインメントマークを基板上に作製する必要がある。

【0023】従って、例えば、アラインメントマーク測定方式が、複数種のハードウェアから構成され、更に、1つのハードウェアに対して備えられた複数種の解析アルゴリズムから構成されている場合、最適なアラインメントマーク測定方式あるいはアラインメントマークの最適形状を選択するために、多数の条件にて多数のアラインメント評価用基板を作製しなければならないという問題がある。

【0024】また、先に説明したように、層間絶縁層の段差部に起因したアルミニウム薄膜層の非対称性によって、エッチング前後における重ね合わせずれ量の値が異なる。デバイス設計上の観点からは、エッチング後の重ね合わせずれ量の値が真の重ね合わせずれ量である。従って、このようにエッチング前後における重ね合わせずれ量の値が異なる場合、アラインメントマーク測定方式が、複数種のハードウェアから構成され、更に、1つのハードウェアに対して備えられた複数種の解析アルゴリズムから構成されている場合、多数のアラインメント評価用基板を作製した後、アラインメント評価用基板上に形成されたパターンのアラインメントマークに対するずれの測定を行う。その後、エッチングを行い、その後、アラインメント評価用サンプルの真の重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定する必要がある。

【0025】従って、多数の条件にて多数のアラインメント評価用基板を作製し、エッチングした後、重ね合わせずれ量の測定を行わなければならない、多数の基板及び工数を必要とするという問題がある。しかも、エッチング後の重ね合わせずれ量の測定には、アラインメント測定方式が最適化されていないことによって発生する測定誤差及び重ね合わせ精度測定機に起因した測定誤差が含まれ、これらを峻別することは極めて困難である。

【0026】従って、本発明の第1の目的は、重ね合わせ精度測定機が包含する重ね合わせ測定誤差を最小にするために、真の重ね合わせずれ量を測定することなく(即ち、エッチング前の測定のみで)、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法を提供することにある。

【0027】更に、本発明の第2の目的は、エッチング後の半導体素子における半導体素子構成要素相互の真の重ね合わせずれ量と、エッチング前の半導体素子における半導体素子構成要素相互の測定された重ね合わせずれ量との相関がとれるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法を提供することにある。

【0028】更に、本発明の第3の目的は、アラインメントマーク測定方式の最適化に要する基板及び工数を少なくすることができ、しかもエッチングすることなく、アラインメントマーク形状あるいはアラインメントマーク測定方式を最適化し得る方法を提供することにある。

【0029】

【課題を解決するための手段】上記の第1の目的は、以

下の特徴を有する、基板上に形成された複数の第1の重ね合わせずれ測定用パターンと第2の重ね合わせずれ測定用パターンとの間の重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法により達成され得る。即ち、本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第1の態様は、(イ)第1の中央測定マークと、この第1の中央測定マークの周辺に配置された複数の第1の周辺測定マークとから成る第1の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に複数形成する工程と、(ロ)第2の中央測定マークと、該第2の中央測定マークの周辺に配置された複数の第2の周辺測定マークとから成り、第1の中央測定マークと第1の周辺測定マークとの相対的な位置関係が第2の中央測定マークと第2の周辺測定マークとの相対的な位置関係と設計上等しい、第2の重ね合わせずれ測定用パターンを、第2の中央測定マークが前記第1の中央測定マークの概ね中央部分に形成され、且つ、複数の第2の周辺測定マークが前記複数の第1の周辺測定マークの概ね中央部分に形成されるように、基板上に複数形成する工程と、(ハ)第1の重ね合わせずれ測定用パターン及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターンの各々において、重ね合わせ精度測定機によって、第1の中央測定マークと第2の中央測定マークとの間の中央測定マーク重ね合わせずれ量を測定し、第1の周辺測定マークとこれに対応する第2の周辺測定マークとの間の周辺測定マーク重ね合わせずれ量を測定する重ね合わせずれ量測定工程と、(ニ)第1の重ね合わせずれ測定用パターン及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターンの各々において、各周辺測定マーク重ね合わせずれ量から、中央測定マーク重ね合わせずれ量を減じて、重ね合わせずれ量差分を求める工程、から成り、重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を調整することを特徴とする。

【0030】本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第1の態様においては、前記(イ)の第1の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に複数形成する工程は、半導体基板上にCVD法、酸化法、スパッタ法等によって形成された $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、ポリシリコン、 $\text{WSi}$ 、 $\text{W}$ 、アルミニウム等から成る層の上にレジスト層を形成し、リソグラフィ法及びエッチング法に基づき該層に第1の重ね合わせずれ測定用パターンを複数形成する工程から成り、前記(ロ)の第2の重ね合わせずれ測定用パターンを基板上に複数形成する工程は、複数の第1の重ね合わせずれ測定用パターンが形成された半導体基板上にレジスト層を形成し、リソグラフィ法によって該レジスト層に第2の重ね合わせずれ測定用パターンを複数形成する工程から成ることが望ましい。

【0031】上記の第2の目的は、以下の特徴を有す

る、基板上に重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成し、この重ね合わせずれ測定用パターン領域に形成された測定マークの重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法により達成される。即ち、本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第2の態様は、(イ)基板上に複数の第1の測定マークを有する重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成する工程と、(ロ)重ね合わせずれ測定用パターン領域上に薄膜層を形成する工程と、(ハ)それぞれの第1の測定マークの上方の薄膜層上に、レジスト材から成り、複数の第1の測定マーク間の相対的な位置関係に設計上等しい、第2の測定マークを形成する工程と、(ニ)重ね合わせ精度測定機の各種測定条件を変えて、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第1の測定マークの形状の影響を受けて形成された薄膜層の形状と、該第1の測定マークに対応する第2の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量を得る工程と、(ホ)第2の測定マークをマスクとして用いて薄膜層をエッチングし、薄膜層から第3の測定マークを形成する工程と、(ヘ)第3の測定マークと、該第3の測定マークに対応する第1の測定マークとの間の第2の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定する工程と、(ト)重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分を求める工程、から成り、かかる重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件を選択することを特徴とする。

【0032】あるいは又、上記の第2の目的は、以下の特徴を有する、基板上に重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成し、かかるパターン領域に形成された測定マークの重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法により達成される。即ち、本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第3の態様は、(イ)複数の第1の測定マークと、各第1の測定マークに隣接した第2の測定マークとを有する重ね合わせずれ測定用パターン領域を基板上に複数形成する工程と、(ロ)重ね合わせずれ測定用パターン領域上に薄膜層を形成する工程と、(ハ)第1の測定マーク上の薄膜層を選択的に除去し、第2の測定マーク上の薄膜層を残す工程と、(ニ)各第1の測定マークに対して相対的な位置関係が設計上等しい第3の測定マークを各第1の測定マークに対応して形成し、且つ、各第2の測定マークに対して相対的な位置関係が設計上等しい第4の測定マークを各第2の測定マークの上方の薄膜層上に形成する工程と、(ホ)重ね合



わせ精度測定機の各種測定条件を変えて、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第2の測定マークの形状の影響を受けて形成された薄膜層の形状と、第4の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量を得る工程と、併せて、重ね合わせ精度測定機の測定条件を一定として、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第1の測定マークと、第3の測定マークとの間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の一定の測定条件に対応した第2の重ね合わせずれ量を得る工程と、(へ) 重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分を求める工程、から成り、かかる重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件を選択することを特徴とする。

【0033】上記の第3の目的は、以下の特徴を有する、基板上に複数のアラインメントマークを有するダイを複数形成し、かかるダイに形成されたアラインメントマークの位置座標を露光装置が備えているアラインメントマーク測定方式によって測定し、アラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式を最適化する方法により達成される。即ち、本発明のアラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式を最適化する方法は、(イ) 各ダイにおけるアラインメントマークの各々の設計上の相対的な位置関係を等しくして、基板上に複数のアラインメントマークを有するダイを複数形成した後、かかる基板表面に感光性樹脂を塗布する工程と、(ロ) 各アラインメントマークの位置を、露光装置が備えているアラインメントマーク測定方式によって測定し、位置座標( $X_m$ ,  $Y_m$ )を求める工程と、(ハ) 各ダイにおいて、複数のアラインメントマークの内の1つを基準点とし、あるいは又、ダイ内の全てのアラインメントの位置座標の平均値を基準点として、かかる基準点の位置座標( $X_m-0$ ,  $Y_m-0$ )に対する他の各アラインメントマークの相対的な位置座標( $X_m-r$ ,  $Y_m-r$ )を、位置座標( $X_m$ ,  $Y_m$ )から求める工程と、(ニ) 各ダイにおいて、基準点に対する他の各アラインメントマークの設計上の相対的な位置座標( $X_d-r$ ,  $Y_d-r$ )を計算によって求め、かかる位置座標( $X_d-r$ ,  $Y_d-r$ )と、前記

(ハ)の工程で求めた各アラインメントマークの相対的な位置座標( $X_m-r$ ,  $Y_m-r$ )との間の差である相対的な位置座標差( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )を求める工程、から成り、かかる位置座標差( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )の複数のダイの間でのばらつきが最小となるアラインメントマークあるいはアラインメントマーク測定方式を選択することを特徴とする。

【0034】

【作用】本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第1の態様においては、周辺測定マークの各々において、中央測定マークとの重ね合わせずれ量差分を求める。第1の重ね合わせずれ測定用パターン及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターン内においては、それぞれの相対的な位置関係が等しくなるように測定マークの位置を設計してあるので、重ね合わせずれ量差分は概ね一定であると考えられる。

【0035】従って、或る第1の重ね合わせずれ測定用パターン及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターンにおいて、周辺測定マークの各々の中央測定マークに対する重ね合わせずれ量差分のばらつきを複数の中央測定マークと複数の周辺測定マークの組み合わせから求めることによって、重ね合わせずれが生じる原因の内、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差以外の原因を相殺することができる。こうして、重ね合わせずれ量差分のばらつきは、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に対応する。それ故、重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を調整すれば、真の重ね合わせずれ量を測定することなく(即ち、エッチング前の測定のみで)、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化することができる。

【0036】本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第2の態様においては、エッチング前後の重ね合わせずれ量の測定を行う。エッチング前の第1の重ね合わせずれ量とエッチング後の第2の重ね合わせずれ量の相違は、重ね合わせ精度測定機が包含する重ね合わせ測定誤差に起因し、更には、重ね合わせずれ測定用パターン領域の第1の測定マークの影響を受けて形成された薄膜層の形状の非対称性等にも起因する。しかしながら、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差以外の要因は、1組の重ね合わせずれ測定用パターンが存在する微小領域内においては、複数点測定した場合のエッチング前後の重ね合わせずれ量差分のばらつきに殆ど寄与しない。また、第3の測定マークと第1の測定マークとの間の第2の重ね合わせずれ量に対する重ね合わせ精度測定機の重ね合わせ測定誤差は小さい。

【0037】従って、第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分は、専ら、第1の重ね合わせずれ量の測定時の重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。それ故、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件が、最適測定条件となる。

【0038】本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第3の態様においては、隣接した測定マークから重ね合わせずれ量差分を求める。隣接した測定

マークの一方においては薄膜層が選択的に除去（即ち、エッチング）されている。また、隣接した測定マークの他方においては薄膜層は残されている。薄膜層のカバレッジの非対称性の他にも、エッチング前後における重ね合わせずれ量に相違を与える因子として、エッチングの際のイオン入射角、レジスト層のテーパの非対称性等を挙げることができる。しかしながら、基板上の近接した領域間では、重ね合わせずれ量の相違に対するこれらの因子の寄与は小さい。即ち、薄膜層が選択的に除去された重ね合わせずれ測定用パターン領域から得られた第2の重ね合わせずれ量と、薄膜層が除去されていない重ね合わせずれ測定用パターン領域においても第4の測定マークをエッチングレジストとして薄膜層をエッチングしたとき得られるエッチング後の薄膜層と第2の測定マークとの間の重ね合わせずれ量との間には、微小な差異はあるものの、これらの2つの重ね合わせずれ量の間には良い相関性があると考えてよい。

【0039】(へ) 重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分を求める工程、従って、第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分の殆どは、専ら、第1の重ね合わせずれ量の重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因すると考えられる。それ故、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件が、最適測定条件となる。

【0040】本発明の露光装置におけるアラインメントマーク形状あるいはアラインメントマーク測定方式の最適化方法においては、位置座標 ( $X_m$ ,  $Y_m$ ) から求めた各アラインメントマークの基準点に対する相対的な位置座標 ( $X_{m-r}$ ,  $Y_{m-r}$ ) と、基準点に対する各アラインメントマークの設計上の相対的な位置座標 ( $X_{d-r}$ ,  $Y_{d-r}$ ) との間の差である相対的な位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) を求め、かかる位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) の複数ダイ間でのばらつきが最小となるアラインメントマークあるいはアラインメントマーク測定方式を選択する。

【0041】1つのダイ内において、( $X_{m-r}$ ,  $Y_{m-r}$ ) と ( $X_{d-r}$ ,  $Y_{d-r}$ ) が異なる（即ち  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  が0にならない）要因として、露光装置のディストーション及び露光装置のアラインメントマーク座標の測定誤差が挙げられる。また、その他の要因として、基板の熱伸縮やチップローテーションを挙げることができる。これらの要因の内、露光装置のディストーション、基板の熱伸縮及びチップローテーションの各々は、ダイ内の位置が同じであれば、異なるダイ間でもほぼ同程度の値となる。従って、位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) のばらつきを求めることによって、露光装置のディストーション、基板の熱伸

縮及びチップローテーションが位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) のそれぞれに与える影響を相殺することができる。

【0042】即ち、位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) のばらつきは、専ら、露光装置のアラインメントマーク座標の測定誤差に起因することになる。それ故、かかる位置座標差 ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) のばらつきが最小となるアラインメントマークあるいはアラインメントマーク測定方式を選択することによって、アラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式の最適化を図ることができる。

【0043】

【実施例】以下、図面を参照して、実施例に基づき本発明を説明する。

【0044】(実施例1) 実施例1は、本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第1の態様に関する。実施例1の方法は、基板上に形成された複数の第1の重ね合わせずれ測定用パターンと第2の重ね合わせずれ測定用パターンとの間の重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する方法である。

【0045】[工程-100] 実施例1の方法においては、先ず、第1の中央測定マーク12と、この第1の中央測定マーク12の周辺に配置された複数の第1の周辺測定マーク14とから成る第1の重ね合わせずれ測定用パターン10を基板上に複数形成する。

【0046】即ち、図1に模式的な平面図を示すように、基板1の上に、 $SiO_2$ 、 $SiN$ 、ポリシリコン、 $WSi$ 、 $W$ 、アルミニウム等から成る層をCVD法、酸化法、スパッタ法等の方法にて形成し、リソグラフィ法及びエッチング法で第1の重ね合わせずれ測定用パターン10を基板上に複数（実施例1においては、14カ所）形成する。第1の重ね合わせずれ測定用パターン10の各々は、第1の中央測定マーク12と、この第1の中央測定マークの周辺に配置された複数（実施例1においては、8カ所）の第1の周辺測定マーク14とから成る。尚、図1において、第1の重ね合わせずれ測定用パターン10の占める領域を破線で示した。第1の中央測定マーク12の形状と第1の周辺測定マーク14の形状は同じとした。第1の中央測定マーク12及び第1の周辺測定マーク14の拡大した一部断面図を図2の(A)に、拡大した一部平面図を図2の(B)に示す。第1の中央測定マーク12及び第1の周辺測定マーク14の形状は任意であるが、実施例1においては、一辺20 $\mu m$ の正方形の開口部とした。第1の中央測定マーク12及び第1の周辺測定マーク14の外形形状は任意であるが、実施例1においては、図示していないが、正方形とした。また、第1の周辺測定マーク間の距離を2.5mmとした。

【0047】[工程-110] 次に、第2の中央測定マ

15

ーク22と、この第2の中央測定マーク22の周辺に配置された複数の第2の周辺測定マーク24とから成る第2の重ね合わせずれ測定用パターン20を、第2の中央測定マーク22が第1の中央測定マーク12の概ね中央部分に形成され、且つ、複数の第2の周辺測定マーク24が複数の第1の周辺測定マーク14の概ね中央部分に形成されるように、基板上に複数形成する。

【0048】尚、第1の中央測定マークと第1の周辺測定マークの相対的な位置関係と、第2の中央測定マークと第2の周辺測定マークの相対的な位置関係を、設計上等しくする。実施例1では、1つの第1の重ね合わせずれ測定用パターン10を、ステッパを用いて1回の露光ショットにて形成した。

【0049】即ち、図3に模式的な平面図を示すように、全面に、レジスト材料から成る層を形成し、リソグラフィ法で第2の重ね合わせずれ測定用パターン20を基板上に複数（実施例1においては、14カ所）形成する。第2の重ね合わせずれ測定用パターン20の各々は、第2の中央測定マーク22と、この第2の中央測定マークの周辺に配置された複数の（実施例1においては、8カ所）第2の周辺測定マーク24とから成る。第2の中央測定マーク22の形状と第2の周辺測定マーク24の形状は同じである。実施例1においては、第2の中央測定マーク22は第1の中央測定マーク12の概ね中央に形成され、且つ、第2の周辺測定マーク24は第1の周辺測定マーク14の概ね中央に形成されている。第1の中央測定マーク12及び第1の周辺測定マーク14、並びに第2の中央測定マーク22及び第2の周辺測定マーク24の拡大した一部断面図を図4の(A)に、拡大した一部平面図を図4の(B)に示す。第2の中央測定マーク22及び第2の周辺測定マーク24の形状は任意であるが、実施例1においては、一辺10 $\mu$ mの正方形の凸部形状とした。

【0050】[工程-120]次に、第1の重ね合わせずれ測定用パターン10及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターン20の各々において、重ね合わせ精度測定機によって、第1の中央測定マーク12と第2の中央測定マーク22との間の中央測定マーク重ね合わせずれ量を測定し、第1の周辺測定マーク14とこれに対応する第2の周辺測定マーク24との間の周辺測定マーク重ね合わせずれ量を測定する。

【0051】ここで、X方向及びY方向の重ね合わせずれ量とは、図4の(B)に示したA、B、C、Dの値に基づき、

$$\Delta X = (A - B) / 2$$

$$\Delta Y = (C - D) / 2$$

で計算することができる。

【0052】具体的には、基板1を重ね合わせ精度測定機のウエハステージ上に載置し、ウエハステージをXY方向に移動させ、対物レンズの焦点位置に測定マークを

16

位置させる。CCDカメラによって像のコントラスト差を識別し、コントラスト差が生じた(X, Y)座標に基づき、A、B、C、Dの値を求める。

【0053】かかるX方向及びY方向の重ね合わせずれ量をベクトル的に示した図を、図5に示す。

【0054】[工程-130]各測定マークにおける重ね合わせずれ量を求めた後、第1の重ね合わせずれ測定用パターン10及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターン20の各々において、周辺測定マーク重ね合わせずれ量( $\Delta X_s$ 及び $\Delta Y_s$ )から、中央測定マーク重ね合わせずれ量( $\Delta X_c$ 及び $\Delta Y_c$ )を減じて、重ね合わせずれ量差分( $\Delta X_s - \Delta X_c$ ,  $\Delta Y_s - \Delta Y_c$ )を求める。

【0055】図6に、かかるX方向及びY方向の重ね合わせずれ量差分( $\Delta X_s - \Delta X_c$ ,  $\Delta Y_s - \Delta Y_c$ )をベクトル的に合成し、更に、14カ所の重ね合わせずれ測定用パターンにおける周辺測定マークの各々において得られた重ね合わせずれ量差分を纏めて図示する。

【0056】或る第1の重ね合わせずれ測定用パターン10及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターン20において、上記の重ね合わせずれ量差分が0にならない原因は、(X)第1の重ね合わせずれ測定用パターン10の形成に用いられたステッパと、第2の重ね合わせずれ測定用パターン20の形成に用いられたステッパとの間におけるレンズのディストーション差がある、(Y)半導体基板に熱伸縮が生じる、(Z)半導体基板が回転した状態でパターンが転写される(所謂チップローテーションが発生する)、等が挙げられる。

【0057】更に、重ね合わせ精度測定機に起因した、見掛け上の構成要素相互の重ね合わせずれも存在する。見掛け上の重ね合わせずれは、光学方式においては、

(a)重ね合わせ精度測定機の焦点位置、(b)測定マークを画像(例えば、明視野像、暗視野像、干渉像、散乱像)として重ね合わせ精度測定機に取り込む場合の画像取り込み方式、(c)レンズの開口数、照明光の波長帯域等の光学系の諸定数、(d)光量の差、(e)照明光の光軸の垂直性歪み等の最適化が不十分なことによっても発生する。

【0058】1つの第1の重ね合わせずれ測定用パターン10及びそれに対応する第2の重ね合わせずれ測定用パターン20内においては、上記(X)~(Z)の影響は概ね一定であると考えられる。従って、重ね合わせずれ量差分( $\Delta X_s - \Delta X_c$ ,  $\Delta Y_s - \Delta Y_c$ )のばらつきを求めれば、上記(X)~(Z)の影響が相殺され、結局、重ね合わせずれ量差分( $\Delta X_s - \Delta X_c$ ,  $\Delta Y_s - \Delta Y_c$ )のばらつきは、重ね合わせ精度測定機が包含する重ね合わせ測定誤差に対応する。

【0059】[工程-140]次いで、重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_{Xa}$ ,  $3\sigma_{Ya}$ )が最小となるように、上記(a)~(e)に述べた重ね合わせ精度測定機

の測定条件を調整する。重ね合わせずれ量差分のばらつき ( $3\sigma_{x_a}$ ,  $3\sigma_{y_a}$ ) は、周辺測定マーク (実施例1においては、8カ所、データ数は14点/1カ所) の各々におけるX方向及びY方向の重ね合わせずれ量差分のばらつき ( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ ) を求め、これらのX方向及びY方向における8つの重ね合わせずれ量差分のばらつき

( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ ) の平均 ( $3\sigma_{x_a}$ ,  $3\sigma_{y_a}$ ) を求めるこ\*

重ね合わせずれ量差分のばらつき ( $\mu\text{m}$ )

	$3\sigma_{x_a}$	$3\sigma_{y_a}$
RUN-1	0.057	0.060
RUN-2	0.085	0.078
RUN-3	0.020	0.022
RUN-4	0.063	0.065

【0061】上記の結果から、RUN-3が、最も少ない重ね合わせずれ量差分のばらつきを示している。従って、RUN-3の組み合わせに係る、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数 (NA) 及び光量という重ね合わせ精度測定機の測定条件によって、重ね合わせ精度を測定すれば、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差が最も小さくなる。

【0062】(実施例2) 実施例2は、本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第2の態様に関する。実施例2の方法は、基板上に重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成し、これらの重ね合わせずれ測定用パターン領域に形成された測定マークの重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する。

【0063】[工程-200] 実施例2の方法においては、まず、基板上に複数の第1の測定マークを有する重

ね合わせずれ測定用パターン領域を形成する。  
 【0064】即ち、図7に模式的な平面図を示すように、基板1上に例えばSiO<sub>2</sub>から成る層30Aを例えばCVD法にて形成し、フォトリソグラフィ法で重ね合わせずれ測定用パターン領域30を層30Aに形成する。実施例2においては、重ね合わせずれ測定用パターン領域30を基板1の14カ所に形成した。尚、図7において、重ね合わせずれ測定用パターン領域30の占める領域を破線で示した。重ね合わせずれ測定用パターン領域30のそれぞれには、複数の第1の測定マーク32が形成されている。第1の測定マークは、実施例2においては、例えば開口部から成り、1つの重ね合わせずれ測定用パターン領域30には9つの第1の測定マーク32が形成されている。重ね合わせずれ測定用パターン領域30に形成された第1の測定マーク32の1つの部分的な拡大断面図を図8の(A)に、拡大平面図を図8の(B)に示す。第1の測定マーク32の形状は任意であるが、実施例2においては、一辺20 $\mu\text{m}$ の正方形とした。また、第1の測定マーク32の外形形状は任意であるが、実施例2においては、図示していないが、正方形※50

\*とによって、得ることができる。

【0060】具体的には、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数 (NA)、及び光量を変えた、RUN-1~RUN-4の試験を[工程-100]~[工程-140]に基づいて行った。試験の結果を下表に示す。

※とした。また、正方形の辺方向の第1の測定マーク間の距離を2.5mmとした。

【0065】[工程-210] 次に、重ね合わせずれ測定用パターン領域30上に薄膜層40を形成する(図9の(A)参照)。薄膜層40は、例えばスパッタリング法にて形成されたアルミニウム薄膜層とすることができる。薄膜層40は、重ね合わせずれ測定用パターン領域30の第1の測定マーク32の影響を受けた形状を有する。即ち、薄膜層40は、具体的には、開口部のエッジ部の影響を受けた形状を有する。

【0066】[工程-220] 次いで、それぞれの第1の測定マーク32の上方の薄膜層40上に、レジスト材から成る第2の測定マーク50を形成する(図9の(B)参照)。第2の測定マーク50は、従来のフォトリソグラフィ法にて形成することができる。

【0067】第2の測定マーク50は、第1の測定マーク32の概ね中央部分に形成した。第2の測定マークの形状は任意であるが、実施例2においては、一辺10 $\mu\text{m}$ の正方形とした。

【0068】尚、複数の第1の測定マーク間の相対的な位置関係は、複数の第2の測定マーク間の相対的な位置関係と、設計上等しくする。

【0069】[工程-230] その後、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件を変えて、重ね合わせずれ測定用パターン領域30の第1の測定マーク32の形状の影響を受けて形成された薄膜層40の形状と、第2の測定マーク50との間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量を得る。

【0070】即ち、第1の測定マーク32の段差部の影響を受けて形成された薄膜層40の段差部と、第2の測定マーク50のエッジ部との間の重ね合わせずれ量を測定する。

【0071】重ね合わせ精度測定機による測定方法は、実施例1と同様の方法とすることができる。また、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件とは、先に説明した(a)~(e)の各条件を指す。即ち、(a)~(e)

の条件を種々組み合わせた条件に重ね合わせ精度測定機を設定し、第1の重ね合わせずれ量を測定する。重ね合わせ精度測定機の測定条件としては、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を例示することができる。

【0072】第1の重ね合わせずれ量は、図9の(B)に示した $E_1$ 及び $F_1$ の値を基に、 $\Delta X_1 = (E_1 - F_1) / 2$ から求めることができる。図9の(B)の紙面と垂直方向の第1の重ね合わせずれ量  $\Delta Y_1 = (G_1 - H_1) / 2$ も同様に求める。

【0073】特に、エッチング前の薄膜層40の段差部と、第2の測定マーク50のエッジ部との間の重ね合わせずれ量の測定は、重ね合わせ精度測定機によって得られるこれらの像が一般に余り鮮明ではなく、誤差が生じ易い。従って、重ね合わせ精度測定機が包含する重ね合わせ測定誤差は大きくなる。

【0074】[工程-240]次いで、第2の測定マーク50をマスクとして用いて薄膜層40をエッチングし、薄膜層から第3の測定マーク42を形成する(図9の(C)参照)。エッチングは従来のリアクティブ・イオン・エッチング法で行えばよい。

【0075】[工程-250]その後、第3の測定マーク42と、第1の測定マーク32との間の第2の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定する。

【0076】この測定においては、通常、第3の測定マーク42と第1の測定マーク32は、重ね合わせ精度測定機において極めてシャープな像として得られる。従って、第3の測定マーク42と、第1の測定マーク32との間の第2の重ね合わせずれ量に対する、重ね合わせ精度測定機の重ね合わせ測定誤差は小さい。

【0077】重ね合わせ精度測定機による測定方法は、実施例1と同様の方法とすることができる。第2の重ね合わせずれ量は、図9の(C)に示した $E_2$ 及び $F_2$ の値を基に、 $\Delta X_2 = (E_2 - F_2) / 2$ から求めることができる。図9の(C)の紙面と垂直方向の第1の重ね合わせずれ量  $\Delta Y_2 = (G_2 - H_2) / 2$ も同様に求める。

【0078】[工程-260]次に、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量の各々( $\Delta X_1$ ,  $\Delta Y_1$ )から第2の重ね合わせずれ量( $\Delta X_2$ ,  $\Delta Y_2$ )を減じて得られる重ね合わせずれ量差分のばらつきを求める。そして、かかる重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件を選択する。

【0079】具体的には、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量、( $E_1 - F_1$ ) / 2 及び ( $G_1 - H_1$ ) / 2 と、対応する第2の重ね合わせずれ量、( $E_2 - F_2$ ) / 2 及び ( $G_2 - H_2$ ) / 2 から、重ね合わせずれ量差分、 $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ を、

$\Delta X = (E_1 - F_1) / 2 - (E_2 - F_2) / 2$   
 $\Delta Y = (G_1 - H_1) / 2 - (G_2 - H_2) / 2$

によって、重ね合わせずれ測定用パターン領域30の測定マークの各々に対して求める。実施例2においては、重ね合わせずれ測定用パターン領域30毎に9データである。重ね合わせずれ量差分 $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ をベクトル的に表示した図を、図10に示す。そして重ね合わせずれ測定用パターン領域内のばらつき( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )を求める。実施例2においては、重ね合わせずれ測定用パターン領域30を基板に14カ所設けたので、14の( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )のデータからそれらの平均値( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )を求める。

【0080】エッチング前後の重ね合わせずれ量の相違、即ち、第1の重ね合わせずれ量と第2の重ね合わせずれ量の相違は、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。この測定誤差は、先に説明した(a)~(e)に起因している。更に、重ね合わせずれ測定用パターン領域30の第1の測定マーク32の影響を受けて形成された薄膜層40の形状の非対称性にも起因する。また、それ以外にも、エッチング時のイオンの入射角度、第2の測定マークの側壁の非対称性に起因する。

【0081】しかしながら、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差以外のこれらの要因に起因した第1の重ね合わせずれ量と第2の重ね合わせずれ量の相違は、1つの重ね合わせずれ測定用パターン領域30内においては、概ね一定である。即ち、第1の重ね合わせずれ量とこれに対応した第2の重ね合わせずれ量を減じて得られる重ね合わせずれ差分のばらつきにおいては、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差以外のこれらの要因を相殺することができる。また、第3の測定マーク42と第1の測定マーク32との間の第2の重ね合わせずれ量に対する重ね合わせ精度測定機の測定誤差は小さい。

【0082】従って、第1の重ね合わせずれ量からこれに対応する第2の重ね合わせずれ量を減じて得られる重ね合わせずれ量差分は、専ら、第1の重ね合わせずれ量の測定時の重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。それ故、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量の各々から、対応する第2の重ね合わせずれ量を減じて得られる重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )が最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件が、最適測定条件となる。

【0083】具体的には、[工程-230]において、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を変えた、RUN-5~RUN-8の試験を、[工程-200]~[工程-260]に基づいて行った。試験の結果を下表に示す。

重ね合わせずれ量差分のばらつき( $\mu m$ )

	$3\sigma_{\lambda a}$	$3\sigma_{\lambda a}$
RUN-5	0.055	0.050
RUN-6	0.080	0.070
RUN-7	0.025	0.020
RUN-8	0.059	0.053

【0084】上記の結果から、RUN-7が、最も少ない重ね合わせずれ量差分のばらつきを示している。従って、RUN-7の組み合わせに係る、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数 (NA) 及び光量という重ね合わせ精度測定機の測定条件によって、エッチング前の重ね合わせ精度を測定すれば、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差が最も小さくなる。

【0085】(実施例3) 実施例3は、本発明の重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化方法の第3の態様に関する。実施例3の方法は、基板上に重ね合わせずれ測定用パターン領域を形成し、これらの重ね合わせずれ測定用パターン領域に形成された測定マークの重ね合わせずれ量を重ね合わせ精度測定機によって測定し、かかる重ね合わせずれ量の測定結果に基づき重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化する。

【0086】[工程-300] 実施例3の方法においては、まず、複数の第1の測定マークと、各第1の測定マークに隣接した第2の測定マークとを有する重ね合わせずれ測定用パターン領域を基板上に複数形成する。

【0087】即ち、図11に模式的な平面図を示すように、基板1上に例えばSiO<sub>2</sub>から成る層60Aを例えばCVD法にて形成し、フォトリソグラフィ法で重ね合わせずれ測定用パターン領域60を層60Aに形成する。実施例3においては、重ね合わせずれ測定用パターン領域60を基板1の13カ所に形成した。尚、図11において、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の占める領域を破線で示した。重ね合わせずれ測定用パターン領域60のそれぞれは、複数の第1の測定マーク62、及び各第1の測定マーク62に隣接した第2の測定マーク64とを有する。尚、第1の測定マーク62と第2の測定マーク64とは、必ずしも接している必要はなく、第1の測定マーク62の近傍に第2の測定マーク64を配置してもよい。

【0088】第1及び第2の測定マーク62、64は、実施例3においては、例えば開口部から成り、1つの重ね合わせずれ測定用パターン領域60には9つの第1及び第2の測定マーク62、64が形成されている。重ね合わせずれ測定用パターン領域60に形成された第1及び第2の測定マーク62、64の1つの部分的な拡大断面図を図12の(A)に、拡大平面図を図12の(B)に示す。第1及び第2の測定マーク62、64の形状は任意であるが、実施例3においては、一辺20 $\mu$ mの正方形とした。また、第1及び第2の測定マーク62、64の外形形状は任意であるが、実施例3においては、図\*50

\*示していないが、正方形とした。また、正方形の辺方向の第1の測定マーク間の距離を2.5mmとした。

【0089】[工程-310] 次に、重ね合わせずれ測定用パターン領域60上に薄膜層66を形成する(図13の(A)参照)。薄膜層66は、スパッタリング法、CVD法、酸化法等にて形成されたエッチング可能な薄膜層とすることができる。薄膜層66は、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の第1及び第2の測定マーク62、64の影響を受けた形状を有する。即ち、薄膜層66は、具体的には、開口部のエッジ部の影響を受けた形状を有する。

【0090】[工程-320] 次に、各重ね合わせずれ測定用パターン領域60における各第1の測定マーク62の上方の薄膜層66を選択的に除去する。即ち、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術によって、各第1の測定マーク62の上方の薄膜層66をエッチングする。エッチングは従来のリアクティブ・イオン・エッチング法で行えばよい。第2の測定マーク64の上方の薄膜層66は残しておく(図13の(B)及び(C)参照)。

【0091】[工程-330] 次に、第3の測定マーク72を各第1の測定マーク62に対して形成し、且つ、第4の測定マーク74を各第2の測定マーク64の上方の薄膜層66上に形成する(図14の(A)及び(B)参照)。各第1の測定マーク62に対する各第3の測定マーク72の相対的な位置関係を、設計上等しくする。各第2の測定マーク64に対する各第4の測定マーク74の相対的な位置関係を、設計上等しくする。第3及び第4の測定マーク72、74はレジスト材から構成されており、従来のフォトリソグラフィ法にて形成することができる。

【0092】第3及び第4の測定マーク72、74は、第1及び第2の測定マーク62、64の概ね中央部分に形成した。第3及び第4の測定マーク72、74の形状は任意であるが、実施例3においては、一辺10 $\mu$ mの正方形とした。

【0093】[工程-340] その後、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件を変えて、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の第2の測定マーク64の形状の影響を受けて形成された薄膜層66の形状と、第4の測定マーク74との間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量を得る。即ち、第2の測定マーク64の段差部の影響を受けて形成された薄膜層66の段差部と、第4の測定マーク74の



エッジ部との間の重ね合わせずれ量を測定する。

【0094】併せて、重ね合わせ精度測定機の測定条件を一定として、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の第1の測定マーク62と、第3の測定マーク72との間の重ね合わせずれ量を、重ね合わせ精度測定機によって測定し、重ね合わせ精度測定機の一定の測定条件に対応した第2の重ね合わせずれ量を得る。

【0095】重ね合わせ精度測定機による測定方法は、実施例1と同様の方法とすることができる。また、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件とは、先に説明した(a)～(e)の各条件を指す。即ち、(a)～(e)の条件を種々組み合わせた条件に重ね合わせ精度測定機を設定し、第1の重ね合わせずれ量を測定する。重ね合わせ精度測定機の測定条件としては、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を例示することができる。

【0096】第1の重ね合わせずれ量は、図14の(A)に示した $E_1$ 及び $F_1$ の値を基に、 $\Delta X_1 = (E_1 - F_1) / 2$ から求めることができる。図14の(A)の紙面と垂直方向の第1の重ね合わせずれ量  $\Delta Y_1 = (G_1 - H_1) / 2$ も同様に求める。

【0097】特に、薄膜層66の段差部と、第4の測定マーク74のエッジ部との間の第1の重ね合わせずれ量( $\Delta X_1$ ,  $\Delta Y_1$ )の測定は、重ね合わせ精度測定機によって得られるこれらの像が一般に余り鮮明ではなく、誤差が生じ易い。従って、重ね合わせ精度測定機が包含する重ね合わせ測定誤差は大きくなる。

【0098】重ね合わせ精度測定機の一定の測定条件を、例えば、重ね合わせ精度測定機における標準的な測定条件として第2の重ね合わせずれ量を測定する。この測定においては、通常、第3の測定マーク72と第1の測定マーク62は、重ね合わせ精度測定機において極めてシャープな像として得られる。従って、第3の測定マーク72と、第1の測定マーク62との間の第2の重ね合わせずれ量に対する、重ね合わせ精度測定機の重ね合わせ測定誤差は小さい。

【0099】第2の重ね合わせずれ量は、図14の(B)に示した $E_2$ 及び $F_2$ の値を基に、 $\Delta X_2 = (E_2 - F_2) / 2$ から求めることができる。図14の(B)の紙面と垂直方向の第1の重ね合わせずれ量  $\Delta Y_2 = (G_2 - H_2) / 2$ も同様に求める。

【0100】[工程-350]次に、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量の各々( $\Delta X_1$ ,  $\Delta Y_1$ )から、対応した第2の重ね合わせずれ量( $\Delta X_2$ ,  $\Delta Y_2$ )を減じて得られる重ね合わせずれ量差分を求め、更に、重ね合わせずれ量差分のばらつきを求める。そして、かかる重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件を選択する。

【0101】具体的には、重ね合わせ精度測定機の各種

測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量、( $E_1 - F_1$ ) / 2 及び ( $G_1 - H_1$ ) / 2 と、第2の重ね合わせずれ量、( $E_2 - F_2$ ) / 2 及び ( $G_2 - H_2$ ) / 2 から、重ね合わせずれ量差分 $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ を、  
 $\Delta X = (E_1 - F_1) / 2 - (E_2 - F_2) / 2$   
 $\Delta Y = (G_1 - H_1) / 2 - (G_2 - H_2) / 2$

によって、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の測定マークの各々に対して求める。実施例3においては、重ね合わせずれ測定用パターン領域60毎に9データである。重ね合わせずれ量差分 $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ をベクトル的に表示した図を、図15に示す。そして重ね合わせずれ測定用パターン領域内のばらつき( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )を求める。実施例3においては、重ね合わせずれ測定用パターン領域60を基板に13カ所設けたので、13の( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )のデータからそれらの平均値( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )を求める。

【0102】重ね合わせずれ量差分は、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。この測定誤差は、先に説明した(a)～(e)に起因している。更に、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の第2の測定マーク64の影響を受けて形成された薄膜層66の形状の非対称性にも起因する。

【0103】しかしながら、基板上の近接した領域間においては、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差以外の因子の重ね合わせずれ量差分に対する寄与は小さい。即ち、薄膜層が選択的に除去された重ね合わせずれ測定用パターン領域60から得られた第2の重ね合わせずれ量と、薄膜層66が除去されていない重ね合わせずれ測定用パターン領域においてもしも第4の測定マーク74をエッチングレジストとして薄膜層66をエッチングしたとき得られるエッチング後の薄膜層と第2の測定マークとの間の重ね合わせずれ量との間には、微小な差異はあるものの、これらの2つの重ね合わせずれ量の間には良い相関性があると考えてよい。

【0104】従って、第1の重ね合わせずれ量の各々から、対応する第2の重ね合わせずれ量を減じて得られる重ね合わせずれ量差分のばらつきは、専ら、第1の重ね合わせずれ量の測定時の重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。それ故、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量の各々から、対応する第2の重ね合わせずれ量を減じて得られる重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )が最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件が、最適測定条件となる。

【0105】具体的には、[工程-340]において、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を変えた、RUN-9～RUN-12の試験を、[工程-300]～[工程-350]に基づいて行った。試験の結果を下表に示す。

重ね合わせずれ量差分のばらつき ( $\mu\text{m}$ )

	$3\sigma_{\Delta}$	$3\sigma_{\Delta}$
RUN-9	0.062	0.050
RUN-10	0.070	0.078
RUN-11	0.020	0.025
RUN-12	0.060	0.063

【0106】上記の結果から、RUN-11が、最も少ない重ね合わせずれ量差分のばらつきを示している。従って、RUN-11の組み合わせに係る、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、画像取り込み方式、レンズの開口数 (NA) 及び光量という重ね合わせ精度測定機の測定条件によって、重ね合わせ精度を測定すれば、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差が最も小さくなる。

【0107】(実施例4) 実施例4は、アラインメントマーク形状あるいは露光装置におけるアラインメントマーク測定方式を最適化する方法に関する。この方法は、基板上に複数のアラインメントマークを有するダイを複数形成し、かかるダイに形成されたアラインメントマークの位置座標を露光装置が備えているアラインメントマーク測定方式によって測定する。以下、実施例4の方法を説明する。

【0108】[工程-400] 先ず、基板1上に複数のアラインメントマーク82を有するダイ80を複数形成する。この場合、各ダイにおけるアラインメントマークの各々の設計上の相対的な位置関係を等しくする。また、アラインメントマークは、ポジ (図16の (A) の模式的な一部断面図を参照) 及びネガ (図16の (B) の模式的な一部断面図を参照) のそれぞれに対して設計寸法 (図16の (A) 及び (B) における a, b の値) を振ったもの (但し  $a+b$  = 一定とする) を形成する。これによって、最適なアラインメントマーク形状を選択するためのアラインメントマークを形成することができる。実施例4においては、図16の (C) に示すように、1つのダイ80内に9つのアラインメントマーク82を形成し、1枚の基板内に14のダイ80を形成した。尚、アラインメントマークは図16の (C) に描いた位置に限定されない。

【0109】アラインメントマークは、以下の方法により形成することができる。基板上にスパッタ法、CVD法、酸化法等によって、例えば  $\text{SiO}_2$  から成る薄膜層84を形成し、かかる薄膜層84をフォトリソグラフィ技術及びエッチング技術によりパターンニングする (図17の (A) 参照)。その後、CVD法等によって、例えばタングステンから成る薄膜層86を全面に形成する (図17の (B) 参照)。かかる薄膜層86は、実際の半導体装置の製造における被エッチング層に相当する薄膜層である。こうしてアラインメントマーク80を形成した後、基板表面に感光性樹脂層88を形成する (図17の (C) 参照)。こうして、薄膜層84、86及び感光性樹脂層88から成る複数 (実施例4においては9

\*つ) のアラインメントマークを有する評価用のダイが形成される。

【0110】[工程-410] 次に、各アラインメントマークの位置を、露光装置が備えている各種のアラインメントマーク測定方式によって測定し、位置座標 ( $X_m, Y_m$ ) を求める。

【0111】例えば、或る形式の露光装置は、3種類のハードウェア (LSA, FIA, LIA) から構成されたアラインメントマーク測定方式を備えている。ここで、LSAとは "Laser Step Alignment" の略であり、回折格子方式である。FIAとは "Field Image Alignment" の略であり、連続波長の光を利用した画像処理方式である。LIAとは "Laser Interferometric Alignment" の略であり、2光束のヘテロダインを用いる格子位置検出方式である。これらの3種類のハードウェアの詳細については、例えば、"New Alignment Sensors For Optical Lithography", N. Magome, et al, Proc. of 1990 Intern. MicroProcess Conference, pp. 32-38 等を参照されたい。

【0112】また、FIAにおいては、複数種の解析アルゴリズムが備えられている。即ち、アラインメントマーク測定方式は、複数種の解析アルゴリズムからも構成されている。ここで、解析アルゴリズムとは、ハードウェアから出力される信号を処理してアラインメントマーク等のエッジ部を認識するための信号解析アルゴリズムを指す。

【0113】アラインメントマーク等のエッジ部を認識するこの解析アルゴリズムには、図18に示すように、「SINGLE」を用いる場合と、「DOUBLE」を用いる場合がある。「SINGLE」を用いる場合 (図18の (B) 参照)、信号のピークとボトムとの間の50%信号強度に対応する位置をエッジ部とする。「DOUBLE」を用いる場合 (図18の (C) 参照)、やはり、信号のピークとボトムとの間の50%信号強度に対応する位置をエッジ部とするが、図18の (C) の四角印の側 (外側) を取るか (OUT)、丸印の側 (内側) を取るか (IN)、外側と内側の両方の平均値を取るか (BOTH) という3種類の解析アルゴリズムがある。尚、図18の (A) は、アラインメントマークが形成された基板の模式的な一部断面図である。

【0114】また、例えば、別の形式の露光装置は、画像処理方式として2種類のハードウェア (HENE, BB) から構成されたアラインメントマーク測定方式を備えている。ここで、HENEとは、画像を取り込む際



ラインメントマークを照射する光源としてHeNeレーザ(単一波長)を用いる方式であり、BBとは、連続波長(Broad Band)を用いる方式である。

【0115】[工程-420]次いで、各ダイ80において、複数のアラインメントマーク82の内の1つ、例えば中央に位置するアラインメントマークを基準点とし、かかる基準点の位置座標( $X_{m-0}$ ,  $Y_{m-0}$ )に対する他の各アラインメントマークの相対的な位置座標( $X_{m-r}$ ,  $Y_{m-r}$ )を、位置座標( $X_m$ ,  $Y_m$ )から求める。即ち、

$$X_{m-r} = X_m - X_{m-0}$$

$$Y_{m-r} = Y_m - Y_{m-0}$$

を、各ダイ内の各アラインメントマークについて求める。尚、ダイの中央にアラインメントマークを配置できない場合、ダイ内の全てのアラインメントの位置座標の平均値を基準点とすることができる。

【0116】[工程-430]その後、各ダイにおいて、基準点の設計上の位置座標( $X_{d-0}$ ,  $Y_{d-0}$ )に対する他の各アラインメントマークの設計上の位置座標( $X_d$ ,  $Y_d$ )の相対的な位置座標( $X_{d-r}$ ,  $Y_{d-r}$ )を計算に

$$X_{d-r} = X_d - X_{d-0}$$

$$Y_{d-r} = Y_d - Y_{d-0}$$

を、各ダイ内の各アラインメントマークについて求め

\*る。そして、測定された位置座標( $X_m$ ,  $Y_m$ )より求められた各アラインメントマークの相対的な位置座標( $X_{m-r}$ ,  $Y_{m-r}$ )から計算によって求められた各アラインメントマークの相対的な位置座標( $X_{d-r}$ ,  $Y_{d-r}$ )を減じて、相対的な位置座標差( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )を求める。即ち、

$$\Delta X = X_{m-r} - X_{d-r}$$

$$\Delta Y = Y_{m-r} - Y_{d-r}$$

を、各ダイ内の各アラインメントマークについて求める。1つのダイにおけるかかる相対的な位置座標差( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )を、図19にベクトル的に示した。

【0117】ダイ内の相対的な位置座標差( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) (実施例4においては8つの位置座標差)のばらつき( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )を求める。更に、実施例4においては、ダイを基板に14カ所設けたので、14の( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )のデータからそれらの平均値( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )を求める。

【0118】具体的には、ハードウェアとしてFIA及びLIAを用い、アラインメントマークはボジを用い、アラインメントマークは片側0.3 $\mu$ mアンダーサイズのものを使用した。即ち、図16の(A)における( $a+b$ )/2-a)/2の値が0.3 $\mu$ mのアラインメントマークを使用した。得られた( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )を下表に示す。

重ね合わせずれ量差分のばらつき( $\mu$ m)

		$3\sigma_{xa}$	$3\sigma_{ya}$
RUN-13	FIA / DOUBLE / IN	0.105	0.112
RUN-14	FIA / DOUBLE / OUT	0.059	0.052
RUN-15	FIA / DOUBLE / BOTH	0.082	0.084
RUN-16	LIA	0.085	0.079

【0119】上記の結果から、RUN-14が、最も小さいばらつき( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )を示している。従って、RUN-14の組み合わせに係るハードウェア(FIA)及び解析アルゴリズム(DOUBLE/OUT)が最適なアラインメントマーク測定方式と結論付けることができる。

【0120】以上、本発明を好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されない。第1の中央及び周辺測定マーク並びに第2の中央並びに周辺測定マークの形状、寸法、配置、配列等、重ね合わせずれ測定用パターンあるいはダイやアラインメントマークの数は、適宜変更可能である。

【0121】更に、重ね合わせずれ測定用パターン領域の形状、個数、第1及び第2の測定マークやアラインメントマークの形状、寸法、配置、配列等も、適宜変更可能である。また、重ね合わせ精度測定機の測定条件も、重ね合わせ精度測定機に依存して各種選択可能である。

【0122】

【発明の効果】本発明により、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差を最小にするために、真の重ね合わせ

※ずれ量を測定することなく、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化することができる。エッチング前においても最適化することができるので、重ね合わせ精度測定機の測定条件の最適化を短時間で行うことができる。

【0123】更に、本発明により、エッチング後の半導体素子における半導体素子構成要素相互の真の重ね合わせずれ量と、エッチング前の半導体素子における半導体素子構成要素相互の測定された重ね合わせずれ量との相関がとれるように、重ね合わせ精度測定機の測定条件を最適化することができる。

【0124】更に、本発明により、アラインメントマーク測定方式の最適化に要する基板及び工数を少なくすることができ、しかもエッチングすることなく、アラインメントマーク形状あるいはアラインメントマーク測定方式を最適化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】基板上に形成された実施例1の第1の重ね合わせずれ測定用パターンを示す平面図である。

【図2】基板上に形成された実施例1の第1の重ね合わせずれ測定用パターンの拡大された一部平面図及び一部

断面図である。

【図3】基板上に形成された実施例1の第1及び第2の重ね合わせずれ測定用パターンを示す平面図である。

【図4】基板上に形成された実施例1の第1及び第2の重ね合わせずれ測定用パターンの拡大された一部平面図及び一部断面図である。

【図5】実施例1におけるX方向及びY方向の重ね合わせずれ量をベクトルの的に示した図である。

【図6】実施例1における重ね合わせずれ量差分をベクトルの的に合成した図である。

【図7】基板上に形成された実施例2の重ね合わせずれ測定用パターン領域を示す平面図である。

【図8】重ね合わせずれ測定用パターン領域に形成された実施例2の第1の測定マークを示す図である。

【図9】実施例2における重ね合わせずれ測定用パターン領域30上に形成された薄膜層、薄膜層上に形成された第2の測定マーク、及び第3の測定マークを示す図である。

【図10】実施例2における重ね合わせずれ量差分、 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ をベクトルの的に表示した図である。

【図11】基板上に形成された実施例3の第1の重ね合わせずれ測定用パターンを示す平面図である。

【図12】基板上に形成された実施例3の重ね合わせずれ測定用パターンの拡大された一部平面図及び一部断面図である。

【図13】実施例3の重ね合わせずれ測定用パターンの形成工程を示す図である。

【図14】図13に引き続き、実施例3の重ね合わせずれ測定用パターンの形成工程を示す図である。

【図15】実施例3におけるX方向及びY方向の重ね合わせずれ量をベクトルの的に示した図である。

【図16】基板上に形成されたアラインメントマークの模式的な一部断面図、及び実施例4のダイを示す平面図である。

【図17】実施例4におけるアラインメントマークの形成方法を説明するための図である。

【図18】露光装置に備えられた解析アルゴリズムを説明するための図である。

【図19】実施例4における相対的な位置座標差をベ

クトルの的に表示した図である。

【図20】光学方式の重ね合わせ精度測定機の概要を示す図である。

【図21】真の重ね合わせずれ量を説明するための図である。

【図22】ステップ・アンド・リピート方式の露光装置の構成例を示す図である。

【符号の説明】

1 基板

10 第1の重ね合わせずれ測定用パターン

12 第1の中央測定マーク

14 第1の周辺測定マーク14

20 第2の重ね合わせずれ測定用パターン

22 第2の中央測定マーク

24 第2の周辺測定マーク

30 重ね合わせずれ測定用パターン領域

32 第1の測定マーク

40 薄膜層

42 第3の測定マーク

20 50 第2の測定マーク

60A SiO<sub>2</sub>から成る層

60 重ね合わせずれ測定用パターン領域

62 第1の測定マーク

64 第2の測定マーク

66 薄膜層

72 第3の測定マーク

74 第4の測定マーク

80 ダイ

82 アラインメントマーク

30 84, 86 薄膜層

88 感光性樹脂層

100 半導体基板

102 層間絶縁層

102A, 102B 層間絶縁層の段差部

104 開口部

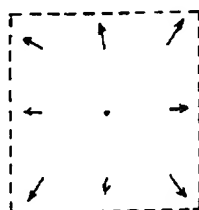
106 薄膜層

106A 配線層

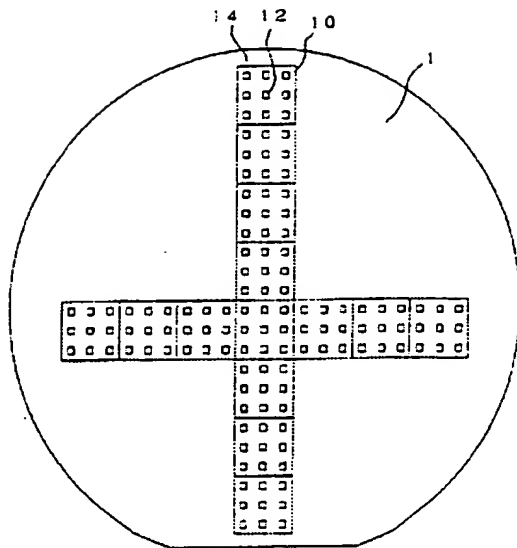
108A, 108B 薄膜層の段差部

110 レジスト層

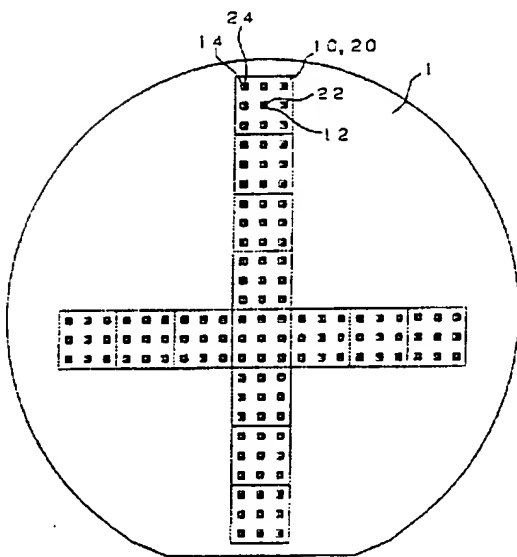
【図19】



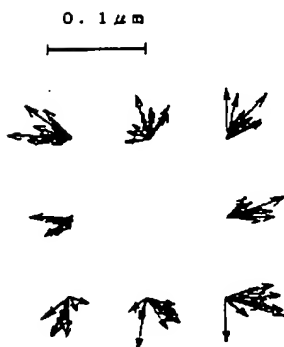
【図1】



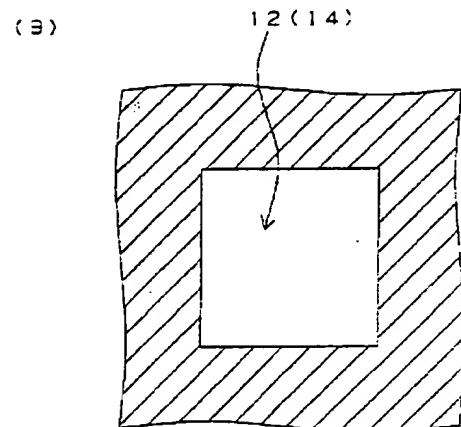
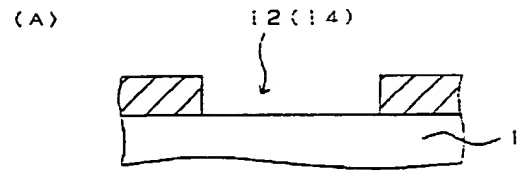
【図3】



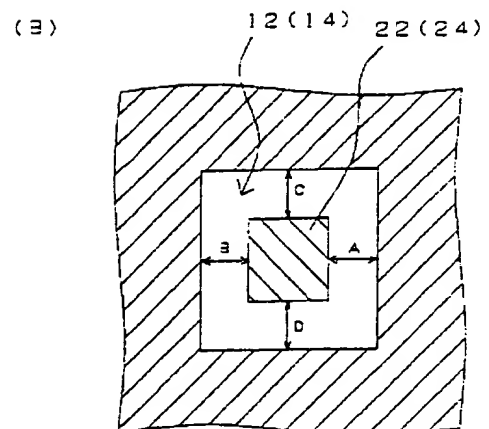
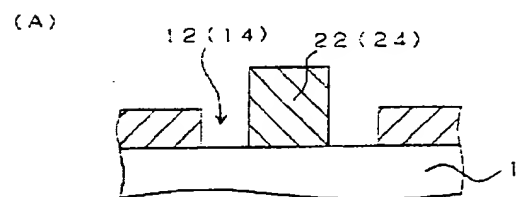
【図6】



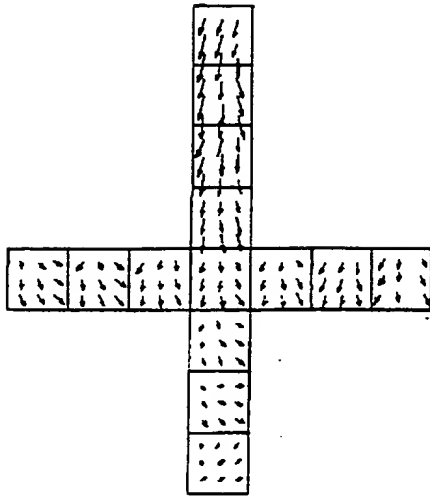
【図2】



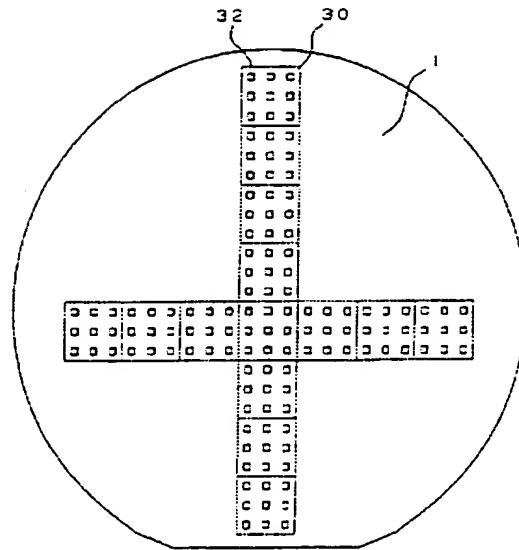
【図4】



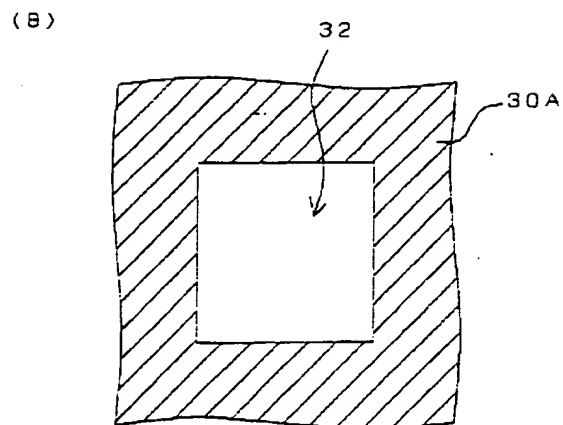
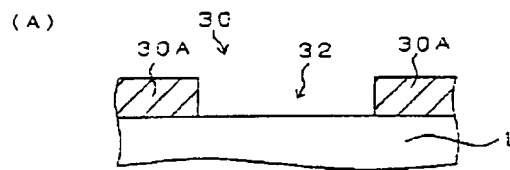
【図5】



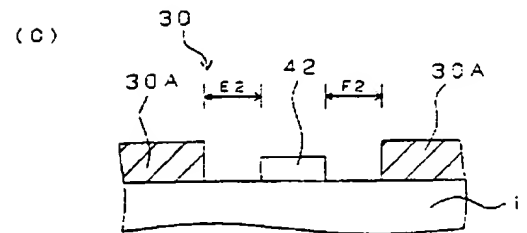
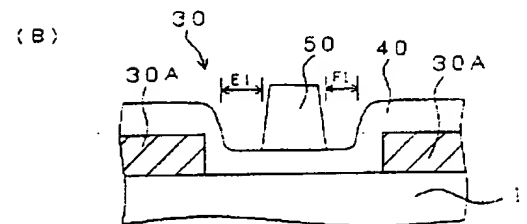
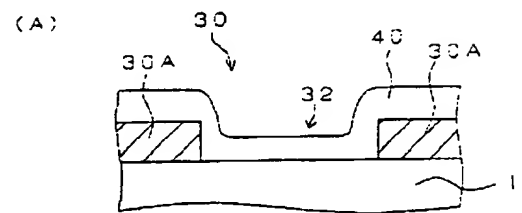
【図7】



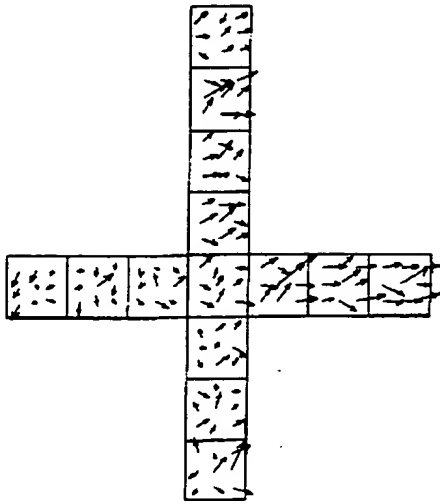
【図8】



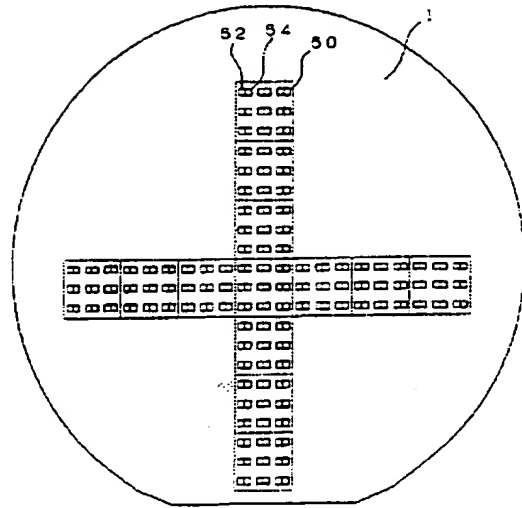
【図9】



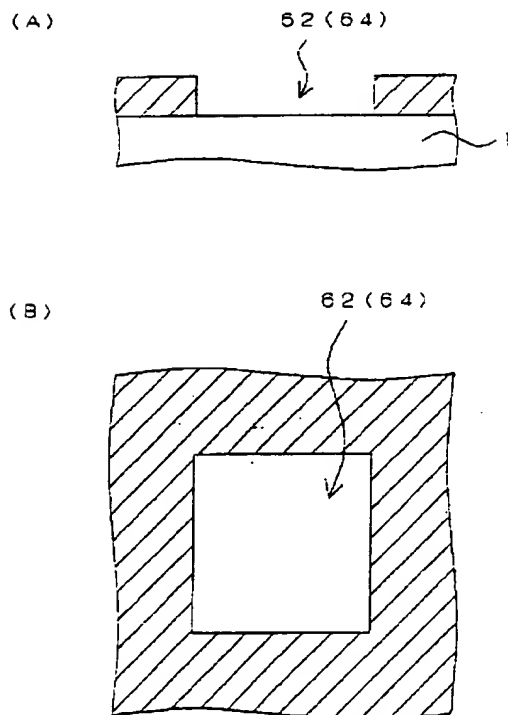
【図10】



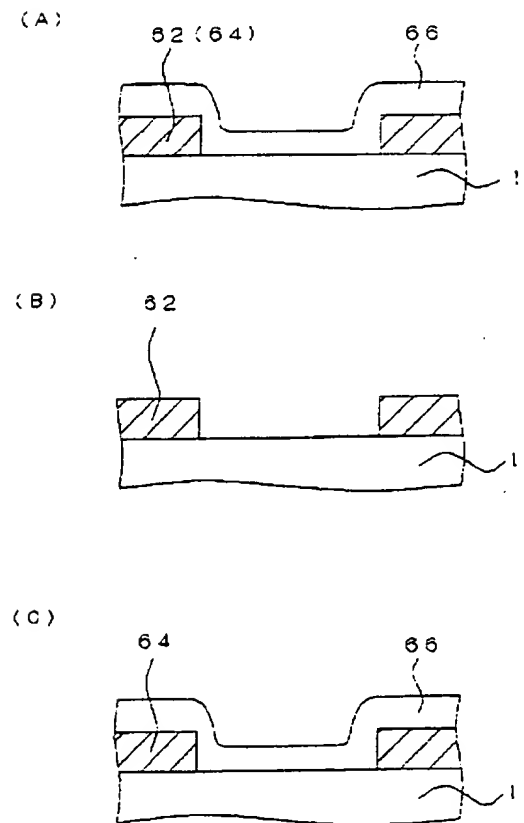
【図11】



【図12】

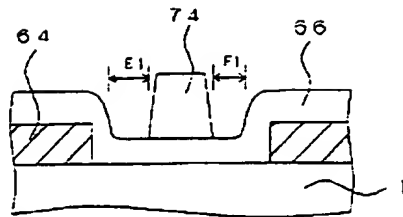


【図13】

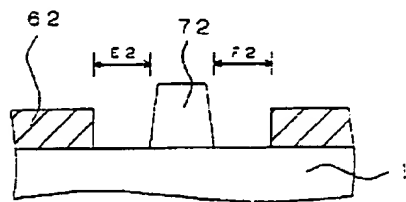


【図14】

(A)

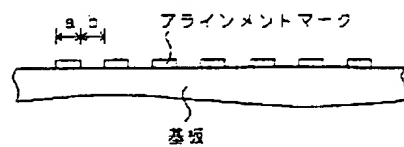


(B)

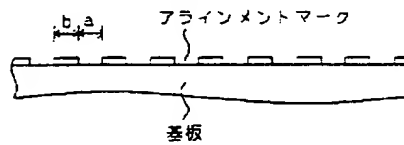


【図16】

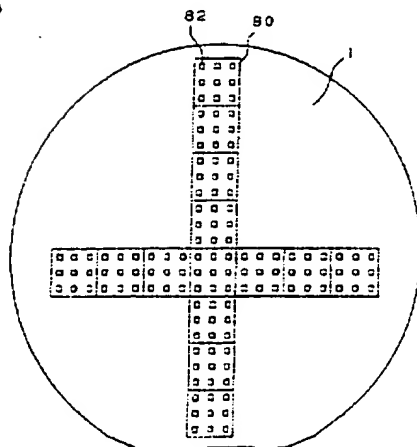
(A) 【ポジ型のアラインメントマーク】



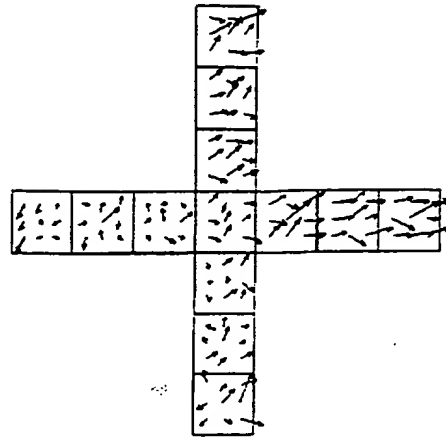
(B) 【ネガ型のアラインメントマーク】



(C)

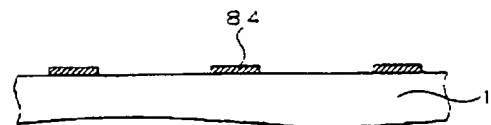


【図15】

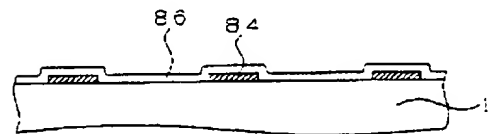


【図17】

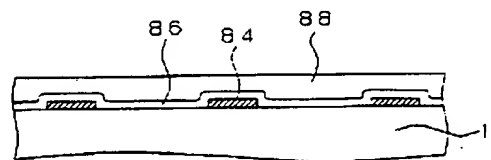
(A)



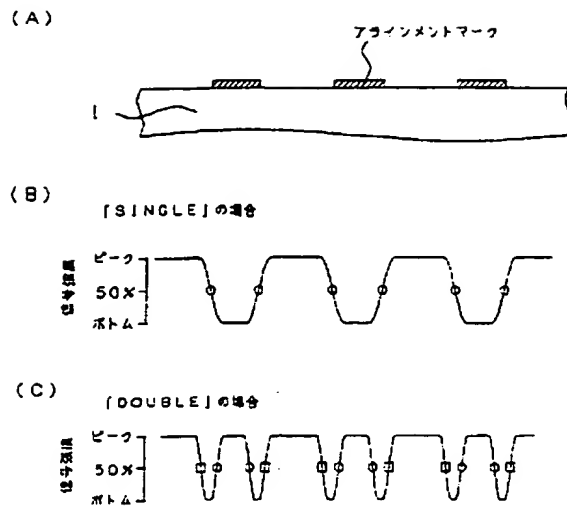
(B)



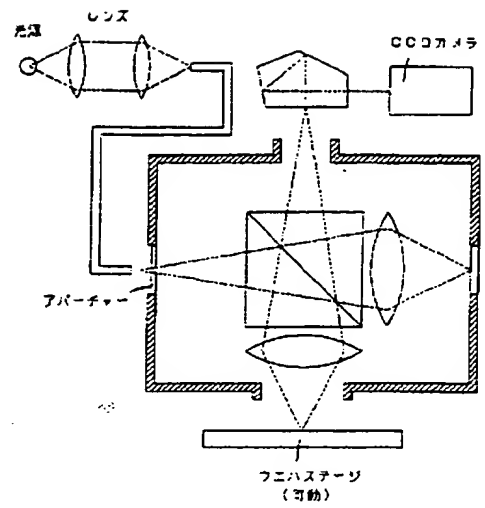
(C)



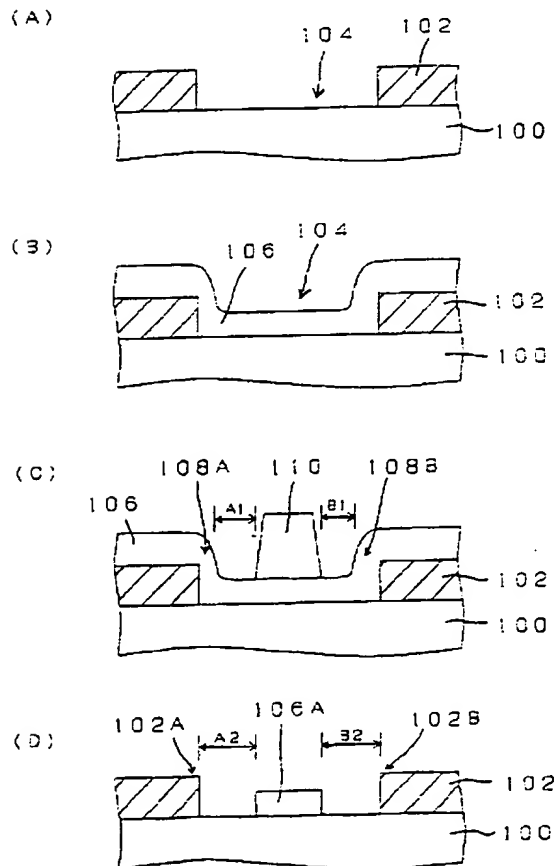
【図18】



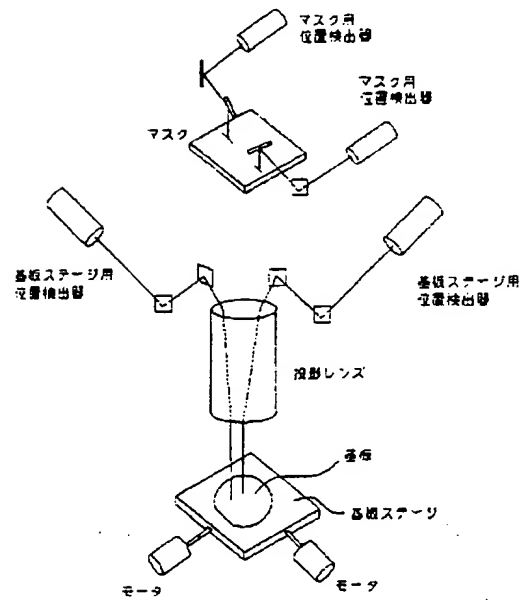
【図20】



【図21】



【図22】



## 【手続補正書】

【提出日】平成5年8月9日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0039】従って、第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合

せずれ量差分の殆どは、専ら、第1の重ね合わせずれ量の重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因すると考えられる。それ故、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件に対応した第1の重ね合わせずれ量と、対応する第2の重ね合わせずれ量との間の差である重ね合わせずれ量差分のばらつきが最小となる重ね合わせ精度測定機の測定条件が、最適測定条件となる。

## 【手続補正書】

【提出日】平成5年10月5日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0007】更に、重ね合わせ精度測定機に起因した、見掛け上の構成要素相互の重ね合わせずれも存在する。見掛け上の重ね合わせずれは、SEM方式及び光学方式においては、(a)重ね合わせ精度測定機の焦点位置、によって発生し、光学方式においては、更に、(b)得られた像を波形処理して重ね合わせずれ量を計算する際の、波形処理演算方法、(c)測定マークを画像（例えば、明視野像、暗視野像、干渉像、散乱像）として重ね合わせ精度測定機に取り込む場合の画像取り込み方式、(d)レンズの開口数、照明光の波長帯域等の光学系の諸定数、(e)光量の差、(f)照明光の光軸の歪み等によって発生する。このような要因によって、重ね合わせ精度測定機には測定誤差が生じる。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0025】従って、多数の条件にて多数のアラインメント評価用基板を作製し、エッチングした後、重ね合わせずれ量の測定を行わなければならない、多数の基板及び工数を必要とするという問題がある。しかも、エッチング後の重ね合わせずれ量の測定には、アラインメントマーク測定方式が最適化されていないことによって発生する測定誤差及び重ね合わせ精度測定機に起因した測定誤差が含まれ、これらを識別することは極めて困難である。

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0057

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0057】更に、重ね合わせ精度測定機に起因した、見掛け上の構成要素相互の重ね合わせずれも存在する。見掛け上の重ね合わせずれは、光学方式においては、(a)重ね合わせ精度測定機の焦点位置、(b)得られた像を波形処理して重ね合わせずれ量を計算する際の、波形処理演算方法、(c)測定マークを画像（例えば、明視野像、暗視野像、干渉像、散乱像）として重ね合わせ精度測定機に取り込む場合の画像取り込み方式、(d)レンズの開口数、照明光の波長帯域等の光学系の諸定数、(e)光量の差、(f)照明光の光軸の垂直性歪み等の最適化が不十分なことによっても発生する。

## 【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0059

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0059】[工程-140]次いで、重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )が最小となるように、上記(a)～(f)に述べた重ね合わせ精度測定機の測定条件を調整する。重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )は、周辺測定マーク（実施例1においては、8カ所、データ数は14点/1カ所）の各々におけるX方向及びY方向の重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )を求め、これらのX方向及びY方向における8つの重ね合わせずれ量差分のばらつき( $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$ )の平均( $3\sigma_{xa}$ ,  $3\sigma_{ya}$ )を求めることによって、得ることができる。

## 【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0060

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0060】具体的には、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を変えた、RUN-1～RUN-4の試験を「工程-100」～「工程-140」に基づいて行った。試験の結果を下表に示す。



重ね合わせずれ量差分のばらつき ( $\mu\text{m}$ )

	$3\sigma_{x_a}$	$3\sigma_{y_a}$
RUN-1	0.057	0.060
RUN-2	0.085	0.078
RUN-3	0.020	0.022
RUN-4	0.063	0.065

## 【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0061

【補正方法】変更

【補正内容】

【0061】上記の結果から、RUN-3が、最も少ない重ね合わせずれ量差分のばらつきを示している。従って、RUN-3の組み合わせに係る、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)及び光量という重ね合わせ精度測定機の測定条件によって、重ね合わせ精度を測定すれば、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差が最も小さくなる。

## 【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0071

【補正方法】変更

【補正内容】

【0071】重ね合わせ精度測定機による測定方法は、実施例1と同様の方法とすることができる。また、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件とは、先に説明した(a)～(f)の各条件を指す。即ち、(a)～(f)の条件を種々組み合わせた条件に重ね合わせ精度測定機を設定し、第1の重ね合わせずれ量を測定する。重ね合わせ精度測定機の測定条件としては、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を例示すること

重ね合わせずれ量差分のばらつき ( $\mu\text{m}$ )

	$3\sigma_{x_a}$	$3\sigma_{y_a}$
RUN-5	0.055	0.050
RUN-6	0.080	0.070
RUN-7	0.025	0.020
RUN-8	0.059	0.053

## 【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0084

【補正方法】変更

【補正内容】

【0084】上記の結果から、RUN-7が、最も少ない重ね合わせずれ量差分のばらつきを示している。従って、RUN-7の組み合わせに係る、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)及び光量という重ね合わせ精度測定機の測定条件によって、エッチング前の重ね合

ができる。

## 【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正内容】

【0080】エッチング前後の重ね合わせずれ量の相違、即ち、第1の重ね合わせずれ量と第2の重ね合わせずれ量の相違は、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。この測定誤差は、先に説明した(a)～(f)に起因している。更に、重ね合わせずれ測定用パターン領域30の第1の測定マーク32の影響を受けて形成された薄膜層40の形状の非対称性にも起因する。また、それ以外にも、エッチング時のイオンの入射角度、第2の測定マークの側壁の非対称性に起因する。

## 【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0083

【補正方法】変更

【補正内容】

【0083】具体的には、[工程-230]において、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数(NA)、及び光量を変えた、RUN-5～RUN-8の試験を、[工程-200]～[工程-260]に基づいて行った。試験の結果を下表に示す。

わせ精度を測定すれば、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差が最も小さくなる。

## 【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0095

【補正方法】変更

【補正内容】

【0095】重ね合わせ精度測定機による測定方法は、実施例1と同様の方法とすることができる。また、重ね合わせ精度測定機の各種測定条件とは、先に説明した(a)～(f)の各条件を指す。即ち、(a)～(f)

の条件を種々組み合わせた条件に重ね合わせ精度測定機を設定し、第1の重ね合わせずれ量を測定する。重ね合わせ精度測定機の測定条件としては、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数（NA）、及び光量を例示することができる。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0102

【補正方法】変更

【補正内容】

【0102】重ね合わせずれ量差分は、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差に起因する。この測定誤差は、先に説明した(a)～(f)に起因している。更

重ね合わせずれ量差分のばらつき(μm)

	$3\sigma_{\lambda a}$	$3\sigma_{\gamma a}$
RUN-9	0.062	0.050
RUN-10	0.070	0.078
RUN-11	0.020	0.025
RUN-12	0.060	0.063

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0106

【補正方法】変更

【補正内容】

【0106】上記の結果から、RUN-11が、最も少ない重ね合わせずれ量差分のばらつきを示している。従

に、重ね合わせずれ測定用パターン領域60の第2の測定マーク64の影響を受けて形成された薄膜層66の形状の非対称性にも起因する。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0105

【補正方法】変更

【補正内容】

【0105】具体的には、[工程-340]において、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数（NA）、及び光量を変えた、RUN-9～RUN-12の試験を、[工程-300]～[工程-350]に基づいて行った。試験の結果を下表に示す。

って、RUN-11の組み合わせに係る、重ね合わせ精度測定機の焦点位置、波形処理演算方法、画像取り込み方式、レンズの開口数（NA）及び光量という重ね合わせ精度測定機の測定条件によって、重ね合わせ精度を測定すれば、重ね合わせ精度測定機が包含する測定誤差が最も小さくなる。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**